

*Università degli studi di Catania*  
*Corso di laurea in fisica*

*Esame di*  
*Storia della fisica – Epistemologia*

*Tesina realizzata da*

*Karl Popper e Isaac Newton: due concezioni della scienza a confronto  
all'interno dell'evoluzione della fisica*

## § Argomento della tesina e metodo di lavoro

Questa tesina prende le mosse da due degli argomenti trattati in aula, per approfondirli e svilupparli seguendo un particolare percorso logico, che vuole mettere a confronto la visione moderna della scienza, con la visione classica della stessa. Ho scelto di compiere questa analisi attraverso un accostamento tra un esponente della cultura novecentesca e uno della cultura del seicento. In particolare il confronto verte sul valore che i due attribuiscono alle discipline scientifiche, e alla fisica in particolare, ma anche sull'approfondimento del metodo da loro proposto e sull'analisi della loro definizione di scientificità. Il tutto allo scopo di poter avere un'idea panoramica di come si è modificato il concetto di scienza nei secoli, e di poter compiere delle considerazioni personali sul valore attuale della scienza.

La prima parte della tesina è dunque costituita dallo studio di una delle più attuali scuole epistemologiche: il circolo di Vienna con particolare riferimento al pensiero di Karl Popper, Thomas Kuhn e Imre Lakatos. Lo studio personale si è sviluppato a partire dall'approfondimento di alcuni brani degli stessi filosofi e dalla lettura di brani di critica (per l'elenco dei testi cui si è fatto riferimento si rimanda alla sezione *Bibliografia e links*). Una seconda fase è consistita nella lettura di più manuali di filosofia che trattano gli argomenti in modo dettagliato. Da tutto il materiale reperito si è cercato di individuare un unico percorso logico che inizia con una breve introduzione storico – culturale per inquadrare il pensiero dei vari filosofi nel giusto contesto, non solo dal punto di vista della storia della filosofia, ma anche della storia della fisica. Successivamente sono passato all'analisi del pensiero dei tre filosofi, con particolare riferimento sia al loro modo di pensare e di teorizzare la prassi scientifica, sia al metodo che a loro intendere i fisici seguono (o dovrebbero seguire), ma anche alla definizione di scienza e di scientificità data da ciascuno di loro. In ogni caso ho cercato sempre di non limitarmi ad una trattazione manualistica, quanto di elaborare considerazioni personali. Ciò su cui ho voluto insistere maggiormente è il confronto tra la riflessione filosofica e la reale prassi scientifica, per poter analizzare se e in che misura la speculazione epistemologica può influire sull'attività scientifica.

In seguito sono passato ad esaminare in che modo sono stati costruiti i principi che per secoli hanno fondato la fisica, e la meccanica in particolare. Il riferimento è ovviamente all'opera di Isaac Newton. Anche in questo caso ho voluto ricercare attraverso la lettura di alcuni brani dell'opera fondamentale newtoniana (*Philosophiae naturalis principia mathematica*) il significato e il valore epistemologico che Newton dà alle sue definizioni e alle sue leggi, in che senso le considera scientifiche, in che modo sono state ricavate, e quali potrebbero essere i loro limiti di validità. Si tratta chiaramente di una trattazione da un punto di vista molto specifico, per la cui elaborazione ho seguito, come detto, alcuni testi dello stesso Newton ma anche alcuni testi dei suoi principali commentatori. Non è stato trascurato anche in questo caso l'inquadramento delle opere di Newton nel contesto storico – culturale in cui sono state scritte e la loro posizione all'interno della storia della fisica.

Infine ho voluto dedicare un paragrafo allo studio del percorso che ha portato alla genesi della teoria della gravitazione universale. In questo modo ho voluto presentare un esempio di come nel seicento gli scienziati hanno lavorato, così da poter confrontare il loro metodo con quello proposto da Popper: far emergere analogie e differenze credo possa servire a far capire ancora meglio le due concezioni epistemologiche.

## § Contesto storico – culturale in cui si sviluppa il pensiero di Karl Popper

Porre il pensiero di ogni filosofo nel contesto culturale in cui si sviluppa è sempre fondamentale per una corretta interpretazione. Diventa quanto mai essenziale per l'analisi del pensiero di Popper, a giudicare da quanto egli stesso dice in un suo libro (*I due problemi fondamentali*):

“[Questo libro] è un figlio del tempo, un figlio della crisi – anche se, soprattutto, della crisi della fisica”.

La meccanica, e più in generale la fisica di Newton, era stata considerata per molti secoli come *episteme*, ovvero sapere certo, definitivo, ricavato dai fenomeni, fondamento dell'indagine scientifica. Un incoraggiamento in questo senso si ha nel periodo illuministico, quando, con la costruzione della meccanica razionale, si spera di poter rappresentare tutto l'universo fisico in termini meccanicistici. Queste convinzioni vengono distrutte drammaticamente a partire dall'ottocento. Mach dal punto epistemologico inizia a dissipare la fede dogmatica nella meccanica, e su questa linea troviamo anche la filosofia convenzionalistica di Poincaré: comincia a tramontare l'idea di una scienza oggettiva che esprime la reale essenza delle cose, la verità. Ma dal punto di vista fisico, i principi della meccanica hanno ancora valore scientifico. Einstein disse, parlando a proposito dell'ambiente scientifico all'inizio del 1900:

“In materia di principi predominava una rigidità dogmatica; in origine Dio creò le leggi del moto di Newton insieme con le masse e le forze necessarie. Questo è tutto; ogni altra cosa risulta deduttivamente attraverso lo sviluppo di metodi matematici appropriati. [...]

Tutti i fisici del secolo scorso videro nella meccanica classica la base sicura e definitiva di tutta la fisica, e anzi, addirittura di tutte le scienze naturali.”

Tutto cambia quando lo stesso Einstein, partendo dalla necessità di spiegare numerosi esperimenti contrastanti con la fisica classica, elabora una nuova teoria (la relatività speciale prima, quella generale dopo), che non è un semplice allargamento della teoria precedente: intanto modifica le leggi di Newton indicandone in particolar modo dei limiti di validità. Fu però davvero devastante dal punto di vista epistemologico la sostanziale riformulazione di concetti saldamente presenti nella mente degli scienziati e nell'immaginario comune, assunti finora come ovvi, cioè quelli di spazio e tempo. Su questo sfondo Popper formula la sua filosofia, per chiarire “che cosa significasse la rivoluzione einsteiniana per la teoria della conoscenza”. Alla crisi della fisica si aggiunge la crisi della matematica e della geometria in particolare: anche qui la geometria euclidea, per millenni considerata come l'unica possibile e soprattutto come l'unica in grado di rappresentare il mondo fisico, viene di colpo svalutata con la scoperta di altre geometrie, non euclidee, ugualmente coerenti dal punto di vista logico, che però descrivono una realtà fisica diversa, forse non evidente, ma ugualmente valida e utile per geometrizzare realtà naturali. E una conferma si ebbe proprio con la relatività di Einstein.

Per concludere questo quadro va ricordato il rapporto di Popper con il Circolo di Vienna, ovvero quella comunità di filosofi neopositivisti che si riunivano a Vienna dando vita ad una vera e propria scuola. Popper è viennese, studia nella sua città, e negli anni venti comincia a leggere alcuni scritti di filosofi neopositivisti. Il suo rapporto con loro è però molto discusso: per alcuni Popper è pienamente integrato nel Circolo di Vienna; per altri invece è in continua antitesi con i circolisti, anzi è colui che segna la fine del movimento neopositivista. L'interpretazione che secondo me appare più corretta tiene conto del fatto che Popper cresce e matura la sua filosofia certamente all'interno dell'ambito del neopositivismo viennese; la sua è e resta una visione positivista. Pur tuttavia non riesce mai ad integrarsi nel Circolo forse perché egli rappresenta uno degli esponenti che segnarono la fine del positivismo come linea filosofica che partì con Hume e che si sviluppa proprio fino agli inizi del novecento. Da questo punto di vista Popper è anche il primo dei filosofi dell'età contemporanea.

### § *Il fallibilismo di Popper; il criterio di falsificabilità per demarcare scienza e metafisica*

Punto di partenza da cui partire per comprendere la filosofia popperiana è il suo inserimento all'interno di quella linea filosofica, di cui abbiamo parlato, che inizia con Mach e che mira a distruggere la visione della scienza come sapere certo per conoscere la verità e l'essenza delle cose. In modo quanto mai chiaro Popper nel suo libro *I due problemi fondamentali* dice:

“Se la teoria di Newton, che era stata controllata nel modo più rigoroso ed era stata confermata meglio di quanto uno scienziato si sarebbe mai potuto sognare, era poi stata smascherata come ipotesi malsicura e superabile, allora era cosa disperata l'aspettarsi che una qualsiasi altra teoria fisica potesse raggiungere qualcosa di più che non lo stato di

un'ipotesi. [...] Le nostre teorie sono fallibili e fallibili rimangono anche quando abbiamo ricevuto conferme lampanti.”

Il senso rivoluzionario di quest'affermazione e della visione che ne sta dietro appare evidente: la conoscenza scientifica non ha più il rango di sapere certo, universale, vero, immutabile, unico. Popper però non vuole cadere, come accadrà in seguito per altri filosofi, nella svalutazione totale della scienza come strumento teoretico, nello scetticismo o nell'irrazionalismo: per lui

“La scienza naturale [...] non è *scientia* o *episteme*; non, comunque, perché sia una *techne*, ma perché appartiene al dominio della *doxa*.”

In altre parole, se la scienza non è certezza non vuol dire che le teorie scientifiche sono solo strumenti più o meno utili, più o meno efficaci per effettuare previsioni di eventi futuri, ma della cui verità o falsità non ha senso occuparsi. Popper definisce invece la scienza *doxa*, ovvero conoscenza congetturale e fallibile, sapere incerto, ma comunque la migliore forma di conoscenza per l'uomo (si ricordi a questo proposito la formazione positivista da cui parte la filosofia di Popper):

“La teoria è qualcosa che il nostro intelletto tenta di prescrivere alla natura; qualcosa però, che spesso la natura non ci lascia prescrivere: che è un'ipotesi costruita dal nostro intelletto ma di sicuro non necessariamente fertile di conseguenze; un'ipotesi che cerchiamo d'imporre alla natura, ma che in natura può far fiasco.”

Appare chiaramente che dopo aver distrutto la scienza così come intesa per secoli (o si è trattato forse di un'autodistruzione?) Popper vuole fondare i termini di una nuova visione di scienza, cui spetta ancora un posto di rilievo nell'ambito della teoresi, ma con connotazioni nuove. L'uomo elabora una teoria scientifica, la verifica sperimentalmente e poi afferma che questa è una tra le tante possibili che possono descrivere i fenomeni naturali: non si tratta più della teoria vera, ma di una teoria probabile. Anzi, secondo Popper contemporaneamente possono coesistere anche più teorie esplicative, tutte sufficientemente corroborate da fatti sperimentali. La validità di queste non è però eterna, ma limitata fino al momento in cui vengono smentite da un fatto sperimentale; a questo punto la teoria perde il suo valore conoscitivo, ma non per questo la scienza nel suo complesso ha perso di valore o non è più in grado di esercitare il suo ruolo: ci saranno di sicuro altre teorie che per un periodo più o meno lungo descriveranno in modo sufficiente la natura. Ovviamente è importante sottolineare che ciò non vuol dire che le teorie scientifiche non siano affatto vere; anzi, la scienza è e resta ricerca della verità, di una descrizione vera del mondo, nel senso di una corrispondenza tra proposizioni e fatti: lo scienziato ha questo scopo (così come lo aveva nella concezione antica). La novità è che non si può mai sapere con certezza quando una teoria scientifica è vera; si può solo stabilire quando è falsa:

“Lo status della verità intesa in senso oggettivo, come corrispondenza ai fatti, con il suo ruolo di principio regolativo, può paragonarsi a quello di una cima montuosa, normalmente avvolta dalle nuvole. Uno scalatore può, non solo avere difficoltà a raggiungerla, ma anche non accorgersene quando vi giunge, poiché può non riuscire a distinguere, nelle nuvole, fra la vetta principale e un picco secondario. Questo tuttavia non mette in discussione l'esistenza oggettiva della vetta. [...] Per quanto sia impossibile allo scalatore accertarsi se ha raggiunto la vetta, gli sarà spesso facile rendersi conto se non l'ha raggiunta; per esempio, allorché è respinto da una parete che lo sovrasta. Analogamente, vi sono dei casi in cui siamo del tutto certi di non aver raggiunto la verità”

Va evidenziato a questo punto il fatto che questa visione di Popper non è altro che lo specchio fedele della situazione in cui si trova la fisica nello stesso periodo storico: demolito il valore universale della meccanica classica, la comunità scientifica si trova davanti diverse teorie, tutte ugualmente valide sperimentalmente, ma nessuna di queste merita il ruolo che prima aveva occupato la meccanica newtoniana. In sostanza Popper con il suo lavoro tenta di delineare un nuovo ruolo per lo scienziato e un nuovo metodo di lavoro coerente con le nuove esigenze. Il fatto che i risultati della sua filosofia siano o meno il vero riflesso di quella che è la prassi scientifica è un discorso diverso che analizzerò in seguito.

La vera e propria filosofia di Popper consiste allora nella costruzione di un nuovo metodo scientifico. A questo proposito si inserisce la critica di Popper al metodo induttivo. In realtà lui

continua un dibattito aperto da tempo e che aveva dimostrato come il metodo induttivo fosse in sostanza privo di valore logico. Le sue motivazioni sono esposte chiaramente nel libro *Scienza e filosofia*:

“Nel passato il termine “induzione” è stato usato soprattutto in due sensi. La prima è l’induzione ripetitiva (o induzione per enumerazione), che consiste di osservazioni spesso ripetute, osservazioni che dovrebbero fondare qualche generalizzazione della teoria. La mancanza di validità di questo genere di ragionamento è ovvia: nessun numero di osservazioni di cigni bianchi riesce a stabilire che tutti i cigni sono bianchi (o che la probabilità di trovare un cigno che non sia bianco è piccola). Allo stesso modo, per quanti spettri di atomi d’idrogeno osserviamo non potremo mai stabilire che tutti gli atomi d’idrogeno emettono spettri dello stesso genere. [...] Dunque l’induzione per enumerazione è fuori causa: non può fondare nulla. Il secondo senso principale in cui il termine “induzione” è stato usato in passato è l’induzione eliminativa: l’induzione fondata sul metodo dell’eliminazione o confutazione delle teorie false. A prima vista questo tipo di induzione può sembrare molto simile al metodo della discussione critica che io sostengo, ma in realtà è molto diverso. Infatti Bacone e Mill, e gli altri diffusori di questo metodo dell’induzione per eliminazione credevano che, eliminando tutte le teorie false, si possa far valere la teoria vera. In altre parole, non si rendevano conto che il numero delle teorie rivali è sempre infinito, anche se, di regola, in ogni momento particolare possiamo prendere in considerazione soltanto un numero finito di teorie. Dico “di regola”, perché qualche volta ci troviamo di fronte a un numero infinito di tali teorie: ad esempio, qualcuno suggerì di modificare la legge newtoniana dell’attrazione secondo l’inverso dei quadrati, sostituendo al quadrato una potenza che differisca solo di poco dal numero 2. Questa proposta equivale al suggerimento che si dovrebbe considerare un numero infinito di correzioni, di poco differenti tra loro, della legge di Newton”.

Collegato a questo discorso troviamo la critica fatta da Popper all’idea di *tabula rasa* propria del positivismo e secondo cui la mente umana è all’inizio totalmente libera da ogni convincimento; in seguito, grazie solamente ai sensi, si acquisisce la conoscenza del mondo. Allo stesso modo deve avvenire la conoscenza scientifica: il ricercatore deve essere inizialmente libero da ogni pregiudizio e poi tramite i dati ricavati dalla natura attraverso i sensi e il metodo induttivo elabora una teoria, che non potrà che essere giusta. Popper avendo confutato il metodo induttivo trova sbagliata pure questa idea. Infatti secondo lui ogni uomo nasce con delle aspettative, delle quasi-teorie, dei convincimenti che ovviamente sono al livello di supposizioni. Queste però permettono ai dati sensoriali di formare conoscenza, che è pertanto una pratica in cui svolgiamo un ruolo attivo, in cui ricerchiamo similarità, conferme, smentite alle nostre aspettative. Ciò ovviamente deve accadere anche per la conoscenza scientifica, che in prima battuta parte da attese, da miti, da conoscenze a priori, che tentiamo di imporre alla natura, ma spesso senza successo dato che la natura poi si oppone confutandole.

A questo punto è completa la *pars destruens*, in quanto è stato demolito pure il metodo induttivo che dai tempi di Bacone veniva considerato come il metodo scientifico. Bisogna ora costruire una nuova epistemologia. La prima domanda che si pone Popper (da buon neopositivista) riguarda la demarcazione tra scienza e metafisica: il suo scopo è trovare un criterio per stabilire se una teoria possa essere considerata scientifica (e dunque tale da apportare conoscenza, seppure nel senso prima specificato) o come non-scienza, metafisica.

Anche in questo caso il modo migliore per conoscere il suo pensiero è ricorrere ad un suo testo, stavolta estratto dal libro *Congetture e confutazioni*:

“Fu durante l’estate del 1919 che cominciai a sentirmi sempre più insoddisfatto di queste tre teorie: la teoria marxista della storia, la psicanalisi e la psicologia individuale; e cominciai a dubitare delle loro pretese di scientificità. Il mio problema dapprima assunse, forse, la semplice forma: “che cosa non va nel marxismo, nella psicanalisi e nella psicologia individuale? Perché queste dottrine sono così diverse dalle teorie fisiche, dalla teoria newtoniana, e soprattutto dalla teoria della relatività?” [...]

Riscontrai che i miei amici, ammiratori di Marx, Freud e Adler, erano colpiti da alcuni elementi comuni a queste teorie e soprattutto dal loro apparente potere esplicativo. Esse sembravano in grado di spiegare praticamente tutto ciò che accadeva nei campi cui si riferivano. Lo studio di una qualunque di esse sembrava avere l'effetto di una conversione o rivelazione intellettuale, che consentiva di levare gli occhi su una nuova verità, preclusa ai non iniziati. Una volta dischiusi in questo modo gli occhi, si scorgevano ovunque delle conferme: il mondo pullulava di verifiche della teoria. Qualunque cosa accadesse, la confermava sempre. La sua verità appariva perciò manifesta; e, quanto agli increduli, si trattava chiaramente di persone che non volevano vedere la verità manifesta, che si rifiutavano di vederla, o perché era contraria ai loro interessi di classe, o a causa delle loro repressioni tuttora "non-analizzate" e reclamanti ad alta voce un trattamento clinico. L'elemento più caratteristico di questa situazione mi parve il flusso incessante delle conferme delle osservazioni, che "verificavano" le teorie in questione; e proprio questo punto veniva costantemente sottolineato dai loro seguaci. Un marxista non poteva aprire un giornale senza trovarvi in ogni pagina una testimonianza in grado di confermare la sua interpretazione della storia; non soltanto per le notizie, ma anche per la loro presentazione – rilevante i pregiudizi classisti del giornale – e soprattutto, naturalmente, per quello che non diceva. Gli analisti freudiani sottolineavano che le loro teorie erano costantemente verificate dalle loro "osservazioni cliniche". Quanto ad Adler, restai molto colpito da un'esperienza personale. Una volta, nel 1919, gli riferii di un caso che non mi sembrava particolarmente adleriano, ma che egli non trovò difficoltà ad analizzare nei termini della sua teoria dei sentimenti di inferiorità, pur non avendo nemmeno visto il bambino. Un po' sconcertato, gli chiesi come poteva essere così sicuro. "A causa della mia esperienza di mille casi simili" egli rispose; al che non potei trattenermi dal commentare: "E con questo ultimo suppongo, la sua esperienza vanta milleuno casi". Mi riferivo al fatto che le sue precedenti osservazioni potevano essere state non molto più valide di quest'ultima; che ciascuna era stata a sua volta interpretata alla luce della "esperienza precedente", essendo contemporaneamente considerata come ulteriore conferma. Conferma di che cosa mi domandavo? Non certo più che del fatto che un caso poteva essere interpretato alla luce della teoria. Ma questo significava molto poco, riflettevo, dal momento che ogni caso concepibile poteva essere interpretato alla luce della teoria di Adler o parimenti di quella di Freud. [...] Non riesco a concepire alcun comportamento umano che non potesse interpretarsi nei termini dell'una o dell'altra teoria. Era precisamente questo fatto - il fatto che dette teorie erano sempre adeguate e risultavano sempre confermate - ciò che agli occhi dei sostenitori costituiva l'argomento più valido a loro favore. Cominciai a intravedere che questa loro apparente forza era in realtà il loro elemento di debolezza.

Nel caso della teoria di Einstein, la situazione era notevolmente differente. Si prenda un esempio tipico: la previsione einsteiniana, confermata proprio allora dai risultati della spedizione di Eddington. La teoria einsteiniana della gravitazione aveva portato alla conclusione che la luce doveva essere attratta dai corpi pesanti come il sole, nello stesso modo in cui erano attratti i corpi materiali. Di conseguenza, si poteva calcolare che la luce proveniente da una lontana stella fissa, la cui posizione apparente fosse prossima al sole, avrebbe raggiunto la terra da una direzione tale da fare apparire la stella leggermente allontanata dal sole; o, in altre parole, si poteva calcolare che le stelle vicine al sole sarebbero apparse come se si fossero scostate un poco dal sole ed anche fra di loro. Si tratta di un fatto che non può normalmente essere osservato, poiché quelle stelle sono rese invisibili durante il giorno dall'eccessivo splendore del sole: nel corso di un'eclissi è tuttavia possibile fotografarle. Se si fotografa la stessa costellazione di notte, è possibile misurare le distanze sulle due fotografie, e controllare così l'effetto previsto.

Ora, la cosa che impressiona in un caso come questo è il rischio implicito in una previsione del genere. Se l'osservazione mostra che l'effetto previsto è del tutto assente, allora la teoria risulta semplicemente confutata. Essa è incompatibile con certi possibili risultati dell'osservazione; di fatto, con i risultati che tutti si sarebbero aspettati prima di Einstein. Si

tratta di una situazione completamente differente da quella prima descritta, in cui emergeva che le teorie in questione erano compatibili con i più disparati comportamenti umani, cosicché era praticamente impossibile descrivere un qualsiasi comportamento che non potesse essere assunto quale verifica di tali teorie.”

Anche in questo caso la rivoluzione compiuta da Popper è notevole: nei secoli precedenti, ma forse ancora oggi nella mentalità comune (e nella prassi scientifica?) una volta scelta una teoria esplicativa, il lavoro dei ricercatori consiste in buona sostanza nella realizzazione di esperimenti che possano confermare tale teoria, nei suoi aspetti generali o in qualche dettaglio particolare. Al contrario secondo Popper l'attività dei ricercatori deve tendere a trovare esperimenti in grado di confutare la teoria, deve essere un continuo mettere alla prova le conoscenze acquisite. Solo questa è l'attività che secondo Popper caratterizza il fisico e lo differenzia in modo netto da coloro che non si occupano di scienza. E ciò perché vi è una netta asimmetria logica tra verifica e falsificazione: un qualsiasi numero, anche grande, ma sempre non infinito, di esperimenti non possono garantirci che una teoria è certamente vera (come è accaduto per la meccanica classica), mentre un solo esperimento basta a falsificare definitivamente una teoria. È evidente poi che l'attività di ricerca è un processo infinito, in virtù del fatto che ogni volta che viene trovata una teoria scientifica, questa è per definizione falsificabile, e prima o poi verrà in effetti falsificata. A quel punto sarà sostituita da un'altra. Anzi proprio il confutare una teoria e la sostituzione che ne segue è il vero processo scientifico di avvicinamento alla verità.

Ma così il criterio di falsificazione è solo apparentemente definito in modo chiaro. Già dei filosofi a lui contemporanei misero in evidenza che, se con il termine falsificare si intende la realizzazione di un esperimento tale che i risultati siano in contrasto con quanto previsto teoricamente, allora nessuna teoria potrà dirsi scientifica se non quando è stata provata non vera. Resta poi il problema (a mio parere ben più grave) dell'incertezza del risultato di un'esperienza: il dato osservato è per sua definizione gravato da una serie di approssimazioni, imprecisioni, errori, tali da rendere valido un risultato solo all'interno di un range più o meno ampio di valori. Può allora un esperimento, proprio a causa della sua intrinseca incertezza, falsificare una teoria? Popper in seguito chiarisce la sua idea, e scrive:

“Una teoria si dice falsificabile quando divide in modo non ambiguo la classe di tutte le possibili asserzioni-base in due sottoclassi non vuote. Primo, la classe di tutte quelle asserzioni-base con le quali è contraddittoria (o che esclude, o vieta): chiamiamo questa classe la classe dei falsificatori potenziali della teoria; secondo, la classe delle asserzioni – base che essa non contraddice (o che permette). [...] Una teoria fa asserzioni soltanto intorno ai suoi falsificatori potenziali. (Asserisce la loro falsità). Intorno alle sue asserzioni-base lecite, non dice nulla. In particolare non dice che sono vere.”

A questo punto però il criterio si è trasformato in un concetto puramente logico. Cercherò di discutere in seguito se la vera ricerca scientifica segue o più in genere può seguire un criterio di questo tipo.

### *§ Il razionalismo critico di Popper*

Dopo aver definito quale conoscenza considerare scientifica, restano altri problemi da risolvere. Innanzitutto, il fatto che il modello di Popper prevede che le teorie, anche solo quelle non ancora falsificate, siano infinite. Dato che a tutte va assegnato lo stesso valore di congettura, in che modo sceglierne una? Anche stavolta Popper non vuole cadere nell'irrazionalismo ma tenta di trovare un metodo razionale per poter scegliere fra teorie scientifiche rivali. A tal proposito Popper ricorda che lo scopo (ultimo) di uno scienziato deve essere il raggiungimento della verità. È la verità dunque a fungere da idea regolativa nell'attività di ricerca: tra più teorie scientifiche in competizione si avvierà una discussione critica consistente nel valutare i “punti deboli” delle teorie stesse. Fa parte di questa discussione anche un momento decisionale: di volta in volta, in base al punto in cui è giunta la discussione sulle teorie, se ne sceglierà una piuttosto che un'altra perché è quella che in quel dato momento sembra essere la più vicina alla realtà, la più compatibile con gli esperimenti. Non è una teoria migliore delle altre, in quanto tutte hanno lo



stesso valore di opinione: è quella che appare momentaneamente più corretta. Non si tratta dunque di una decisione definitiva, in quanto la scelta stessa sarà sempre oggetto di critica, e potrà essere senza alcun problema modificata. Ruolo preminente in questo tipo di discussione critica è quello dell'esperienza, il continuo confronto di congetture e dati sperimentali, con lo scopo di valutare di volta in volta le migliori approssimazioni. Questo continuo mettere in discussione le conoscenze acquisite rappresenta secondo Popper un progressivo avvicinamento verso la verità, ed è quello che lui chiama progresso della scienza:

“L'asserzione che la terra sia immobile e che il cielo stellato vi ruoti intorno è più lontana dalla verità di quella che la terra ruoti intorno al proprio asse; che sia, cioè, il sole ad essere immobile e che la terra e gli altri pianeti si muovano intorno al sole in orbite circolari (come proposero Copernico e Galileo). L'asserzione, dovuta a Keplero, che i pianeti non si muovono in cerchi, ma in ellissi (non molto allungate) con il sole nel loro fuoco comune (e con il sole immobile, o in rotazione intorno al proprio asse), è un'ulteriore approssimazione alla verità. L'asserzione (dovuta a Newton) che esiste uno spazio immobile, ma che, a prescindere dalla rotazione, la sua posizione non può essere trovata mediante l'osservazione delle stelle o degli effetti meccanici, è un ulteriore passo verso la verità”.

Chiaramente presupposto implicito di questo metodo è che più teorie scientifiche, per quanto diverse tra loro, sono confrontabili. Osservazione questa che potrebbe sembrare ovvia ma che non lo è, come vedremo, per altri filosofi.

### *§ Il ruolo delle teorie non-scientifiche secondo Popper*

Come detto, la filosofia di Popper parte dall'esigenza di separare scienza e metafisica. Abbiamo visto come Popper propone di risolvere la questione, ma poi quando si tratta di assegnare un significato alla metafisica segue una linea personale che si discosta dai restanti filosofi positivisti. Il loro proposito era infatti quello di eliminare ogni traccia di metafisica in quanto priva di qualsivoglia valore. Popper tenta invece di dare un ruolo anche alle teorie che lui classifica come non scientifiche: per lui la scoperta scientifica è impossibile senza l'appoggio su idee che hanno una natura puramente speculativa, idee completamente prive di garanzie scientifiche, ma che spesso danno inizio alla ricerca scientifica in senso stretto. In altre parole, quando lui dice che l'uomo nel momento in cui si rapporta con i dati sensoriali ha preliminarmente delle aspettative, probabilmente si riferisce anche ad aspettative metafisiche (come l'idea di ordine dell'universo) che non entreranno mai a far parte della scienza, ma che svolgono in essa un ruolo determinante. Porta anche degli esempi storici: l'idea dell'esistenza di un principio fisico (atomismo), la teoria del moto della terra, la teoria dell'elettricità come fluido, sono idee metafisiche che hanno guidato molti ricercatori, e che hanno poi acquistato lo status di scienza solo quando sono state trasformate in teorie falsificabili. Popper in definitiva relega la metafisica ad un ambito solamente psicologico e storico, ma in questo modo di fatto la rivaluta. E queste sue osservazioni possono essere considerate quanto mai attuali.

### *§ Considerazioni personali*

Dal punto di vista logico ed epistemologico, la formulazione di Popper, perlomeno per la sua organicità, rappresenta una vera e propria novità che tenta di dare una risposta soddisfacente a tutte le problematiche, sia di ordine filosofico, ma anche nel campo scientifico, emerse agli inizi del novecento. Evidentemente la sua proposta fu oggetto di molte critiche, anche se rappresenta uno dei capisaldi della filosofia contemporanea. La traccia di analisi che voglio condurre in questa sede riguarda però il confronto tra quanto descritto da un punto di vista filosofico da Popper e quanto fa invece realmente parte della prassi scientifica.



È certamente vero che prima del novecento i principi della meccanica newtoniana venivano considerati veri senza mai essere messi in discussione. Per secoli il lavoro degli scienziati è consistito nel trovare di volta in volta i giusti espedienti matematici per salvare quei principi e giustificare al tempo stesso le evenienze sperimentali. L'idea di Popper si basa invece su alcuni cardini ineliminabili: innanzitutto la convinzione che per spiegare uno stesso fenomeno sia sempre possibile ricorrere ad un numero infinito di diverse teorie, tutte tra loro confrontabili in modo razionale; in secondo luogo l'affermazione che la ricerca scientifica proceda attraverso una continua discussione critica delle varie teorie esistenti, al fine di falsificarle e dunque di eliminarle.

Questi due cardini, che sicuramente reggono l'impalcatura logica del pensiero di Popper, hanno poi un riscontro nella realtà della prassi scientifica? L'obiezione che mi sento di fare è che sia il metodo dei falsificatori potenziali che il metodo del razionalismo critico non sembrano poter avere una reale possibilità di applicazione pratica. Innanzitutto alla luce delle mie conoscenze di storia della fisica non mi sembra che si abbia mai a disposizione addirittura un numero infinito di teorie per interpretare un fenomeno. Mi sembra invece che la tendenza della scienza sia quella di ricavare se possibile una sola teoria generale, universale e in grado di spiegare tutti i fenomeni. Credo poi che in presenza di un'esperienza apparentemente contrastante con le previsioni teoriche, i fisici siano portati ad aggiustare la teoria a disposizione, salvando quanto di buono sembra avere ed eventualmente aggiungendo ipotesi laterali. Un esempio per tutti è la diatriba sviluppatasi attorno al problema del moto relativo terra-etere. In quel caso esperienze come quella di Michelson e Morley, ma anche la scoperta del fenomeno dell'aberrazione, erano del tutto contrastanti con le conoscenze teoriche del momento. I fisici non pensarono affatto ad abbandonare le teorie che possedevano solo perché confutate da un'esperienza; piuttosto ricorrevano ad ipotesi come l'idea di etere, sostanza cui furono poi attribuite le più svariate proprietà. Tra l'altro la meccanica classica fu davvero confutata da quegli esperimenti? Innanzitutto è ormai assodato che un dato sperimentale per sua definizione può essere letto in tanti modi quanti sono coloro che lo interpretano, e tutte le idee vanno poste sullo stesso piano (è per questo che oggi non si parla di lettura oggettiva di un fatto, piuttosto di lettura intersoggettiva): può allora un fatto sperimentale falsificare oggettivamente una teoria? Non si dimentichi poi che quasi sempre, ma in particolare all'inizio del novecento, dovevano essere spiegati fenomeni sia in contrasto ma anche in accordo con la teoria classica. Secondo Popper la teoria classica risulterebbe comunque confutata; ma allora perché viene ancora utilizzata come buona approssimazione per spiegare una vasta classe di fenomeni? Anche se oggi abbiamo a disposizione teorie più complete, facciamo comunque riferimento ancora a quella classica (considerandola un caso particolare di quelle più generali) per spiegare tutti quei fenomeni per i quali questa risulta più semplice e più facile per effettuare previsioni; non la consideriamo più una teoria universale ma le diamo valore limitatamente a quei fenomeni non contrastanti con essa.

Mi sembra in conclusione che sebbene l'intento iniziale di Popper fosse quello di costruire un nuovo metodo scientifico, la sua alla fine si sia rivelata una logica costruzione filosofica ma di difficile applicazione pratica. Con ciò non voglio svalutare il senso del suo pensiero, che comunque resta la prima enunciazione di quel concetto di relatività della scienza che fa parte della cultura moderna. Popper infatti è il primo filosofo che distrugge logicamente il concetto di scienza come conoscenza certa, assoluta, eterna, e le attribuisce invece un valore di limitatezza temporale, di opinione spesso fallace e comunque sempre modificabile, valore che oggi viene comunemente attribuito alla scienza.

Un'ultima considerazione riguarda il rapporto esistente secondo Popper tra scienza e non-scienza, tra scienza e metafisica. Anche qui le idee di Popper mi sembrano di una straordinaria modernità: pur essendo la sua formazione di stampo positivista, lui non rigetta in toto tutto ciò che non può essere considerato come scienza, anzi attribuisce ad essa un particolare valore, anche all'interno dell'attività scientifica. Per la prima volta appare che la separazione tra scienza e metafisica non vuol dire svalutazione di una delle due; anzi viene sancito che l'attività di ogni scienziato, attività sia di ricerca che di costruzione teorica, al fine di avere una conoscenza veramente scientifica non può essere ridotta ad una serie di regole da applicare in modo rigido. Secondo me, infatti, dietro

l'attività di ogni scienziato, dietro le sue scelte di indirizzo, dietro il suo modo di lavorare vi deve essere una precisa idea regolativa e delle scelte la cui giustificazione non può essere di carattere scientifico in senso stretto, ma riguarda una sfera soggettiva, anche metafisica, che però non è affatto esterna alla scienza stessa, anzi ne rappresenta una guida.

### § *Il pensiero di alcuni seguaci di Popper: Kuhn e Lakatos*

Ben presto il pensiero di Popper fu criticato, anche da suoi contemporanei. In questa sede voglio accennare a due di loro: Kuhn e Lakatos. Si tratta di due filosofi che lavorarono insieme a Popper, e hanno partecipato insieme a lui al dibattito epistemologico contemporaneo.

Thomas Kuhn elabora il suo pensiero partendo dall'osservazione del funzionamento delle comunità scientifiche riconosciute come tali. In genere tutti gli scienziati appartenenti a una comunità convergono su un paradigma e la loro attività è definita da Kuhn "scienza normale". Con questi termini lui vuole definire l'insieme di teorie, regole, procedure comunemente accettate e su cui verte la ricerca scientifica che dunque di norma non tende a compiere scoperte o ad elaborare teorie, ma rimane all'interno del paradigma, cercandone articolazioni, precisazioni, estensioni. Nell'opera *La struttura delle rivoluzioni scientifiche* egli afferma:

"In questo saggio, "scienza normale" significa una ricerca stabilmente fondata su uno o più risultati raggiunti dalla scienza del passato, ai quali una particolare comunità scientifica, per un certo periodo di tempo, riconosce la capacità di costituire il fondamento della sua prassi ulteriore. Oggi tali punti fermi sono elencati, seppure raramente nella loro forma originale, dai manuali scientifici sia elementari che superiori. Questi manuali espongono il corpo della teoria riconosciuta come valida, illustrano molte o tutte le sue applicazioni coronate da successo e confrontano queste applicazioni con osservazioni ed esperimenti esemplari. [...] [Possiedono] due caratteristiche: i risultati che presentano sono sufficientemente nuovi per attrarre uno stabile gruppo di seguaci, distogliendoli da forme di attività scientifica contrastanti con essi; e nello stesso tempo, sono sufficientemente aperti da lasciare al gruppo di scienziati costituitosi su queste nuove basi la possibilità di risolvere problemi d'ogni genere. D'ora in avanti, per indicare i risultati che hanno in comune queste due caratteristiche, userò il termine "paradigmi", che ha una precisa relazione col termine "scienza normale". Con la scelta di questo termine ho voluto far presente il fatto che alcuni esempi di effettiva prassi scientifica riconosciuti come validi – esempi che comprendono globalmente leggi, teorie, applicazioni e strumenti - forniscono modelli che danno origine a particolari tradizioni di ricerca scientifica con una loro coerenza. [...] Lo studio dei paradigmi è ciò che principalmente prepara lo studente a diventare membro della particolare comunità scientifica con la quale più tardi dovrà collaborare. Dal momento che in tale comunità egli incontra scienziati che appresero i fondamenti della loro disciplina dagli stessi modelli concreti, la sua attività successiva raramente susciterà un aperto disaccordo riguardo ai principi fondamentali. Coloro la cui ricerca si basa sui paradigmi condivisi dalla comunità scientifica si impegnano ad osservare le stesse regole e gli stessi modelli nella loro attività scientifica. Questo impegno e l'evidente consenso che esso produce, sono requisiti indispensabili per una scienza normale ossia per la genesi e per il mantenimento di una particolare tradizione di ricerca".

Chiarito dunque il senso di "scienza normale", è automaticamente data una definizione di teoria scientifica: scientifico è tutto ciò che è all'interno di un paradigma. Gli scienziati allora nella loro attività di tutti i giorni risolvono "rompicapi" relativi al paradigma. Tuttavia all'interno della scienza normale, con regolare ripetitività, accadono degli episodi, relativamente estesi nel tempo, che iniziano nel momento in cui gli scienziati si accorgono di un'anomalia all'interno del paradigma, cioè riconoscono che la natura ha risposto in modo diverso alle aspettative da esso suscitate. Si tratta ovviamente di anomalie che mettono in gioco il paradigma stesso nelle sue capacità esplicative. Si determina in questo momento una situazione di crisi in cui gli scienziati sono costretti a riadattare il paradigma, o addirittura a modificarlo totalmente finché ciò che

appariva anomalo sia spiegabile alla luce delle nuove teorie. Questo cambiamento però secondo Kuhn è una vera e propria conversione, che avviene per le ragioni più disparate, anche esterne alla scienza, o addirittura solo estetiche, legate a idiosincrasie personali, e comunque sono legate alla fiducia che il nuovo paradigma ispira riguardo alla risoluzione di sempre nuovi rompicapi, anche a dispetto di alcuni elementi momentanei. Ovviamente questa conversione non coinvolge tutta la comunità nello stesso momento; si tratta piuttosto di un “progressivo spostamento della fiducia degli specialisti”. A tal proposito lo stesso Kuhn porta alcuni esempi tratti dalla storia della fisica, e riguardanti episodi che lui definisce rivoluzionari, in cui cioè è avvenuto il passaggio da un paradigma ad un altro: la nascita dell’astronomia copernicana, l’emergere della teoria di Lavoisier sulla funzione dell’ossigeno nella combustione, l’affermarsi della teoria della relatività.

Le differenze della filosofia di Kuhn da quella di Popper sono notevoli. Di sicuro nel pensiero di Kuhn ritroviamo due degli elementi codificati per la prima volta da Popper, ovvero il carattere relativo e temporaneo delle teorie scientifiche, e la presenza di elementi non scientifici dietro le scelte di indirizzo degli scienziati. Ma a parte questi due elementi, Kuhn si allontana dall’impostazione rigidamente logica di Popper e si avvicina molto, a mio parere, a quella che è la reale prassi scientifica. Molti dei rilievi che avevo rivolto al pensiero di Popper vengono qui a cadere. Kuhn comprende infatti come la creazione di una nuova teoria sia un fatto del tutto eccezionale e non rappresenti invece la quotidiana attività di un ricercatore; si rende conto che non basta una esperienza a falsificare un’intera teoria, e comunque ammette che anche in presenza di una esperienza di questo tipo i ricercatori tendono fin quando è possibile ad operare delle correzioni sul paradigma, cercando fin quando possibile di salvarlo. Altro elemento che caratterizza la sua filosofia, e che gli ha attirato molte critiche, specie di irrazionalismo e misticismo, è il ritenere il passaggio da un paradigma ad un altro non un fatto rigidamente razionale quanto piuttosto un’esperienza in cui la scelta del nuovo paradigma è quasi una scelta di fede, in ogni caso legata ad una generica simpatia, certamente non codificabile in termini prettamente razionali, come invece pretendeva Popper. E questo ritengo sia una delle cose che caratterizzi la reale attività scientifica: le scelte di fondo di ogni ricercatore come detto non rispondono quasi mai ad un percorso razionale ma piuttosto a convinzioni filosofiche che poi ovviamente non compaiono, ad esempio, nella stesura di un articolo scientifico.

Infine, voglio sottolineare altri due elementi della filosofia kuhniana. Il primo riguarda il fatto che due o più paradigmi sono tra loro del tutto incommensurabili, cioè non è possibile confrontarli quantitativamente (conseguenza di quanto detto prima); l’altro, l’affermazione che lo sviluppo della scienza è ateleologico. Solo durante le fasi di scienza normale si ha un vero progresso scientifico: ai periodi di rivoluzione corrisponde una fase in cui è sempre presente il dubbio che il paradigma che poi viene scelto non corrisponda ad un vero avanzamento delle possibilità di conoscenza. In ogni caso la scienza non ha mai un fine (come nel caso di Popper): Kuhn preferisce parlare non di progresso “verso” qualcosa, quanto di progresso “a partire” dalle conoscenze precedenti, di sicuro errate giacché abbandonate. Una visione, questa, che ha fatto parlare di “epistemologia evoluzionistica” per la vicinanza col modello di progresso darwiniano.

Sulla stessa linea filosofica si trova il pensiero di un altro contemporaneo di Popper: Imre Lakatos. Egli parte dal convincimento che non esistono esperimenti cruciali che possono falsificare una teoria, e ciò perché gli scienziati si sono sempre mostrati attaccati ad una teoria e si mostrano restii ad abbandonarla anche in presenza di un fatto che la contraddice. Anzi in questi casi cercano delle ipotesi ausiliarie per salvare la teoria spiegando il fatto. Eventualmente se ciò non è possibile, questo fatto, che diventa un’anomalia, viene abbandonato. La scienza secondo Lakatos si sviluppa quindi attorno ad un nucleo teorico intaccabile, che lui definisce “programma di ricerca”, tenacemente difeso da tutti gli scienziati e attorno al quale si sviluppa una cintura protettiva di ipotesi ausiliarie, modificate, aggiustate, eventualmente eliminate di volta in volta durante il confronto con i fatti sperimentali. A tal proposito afferma:

“Io sostengo che i grandi risultati scientifici non consistono di ipotesi isolate ma piuttosto di programmi di ricerca. La scienza non è semplicemente una serie di tentativi ed errori, di congetture e confutazioni. La scienza newtoniana, per esempio, non è solo un insieme di quattro congetture: le tre leggi della meccanica e la legge di gravitazione. Queste quattro

leggi costituiscono il “nucleo” del programma newtoniano. Ma questo nucleo è tenacemente protetto dalla confutazione mediante una vasta “cintura protettiva” di ipotesi ausiliarie. E, cosa ancor più importante, il programma di ricerca ha anche un’“euristica”, ossia un potente apparato per la soluzione di problemi che, con l’aiuto di sofisticate tecniche matematiche, digerisce le anomalie e le trasforma in evidenza positiva. Per esempio, se un pianeta non si muove esattamente come dovrebbe, lo scienziato newtoniano controlla le sue congetture riguardanti la rifrazione atmosferica, la propagazione della luce nelle tempeste magnetiche e centinaia di altre congetture che fanno tutte parte del programma. Per spiegare l’anomalia può anche inventare un pianeta finora sconosciuto e calcolare la sua posizione, la sua massa e la sua velocità. Ebbene, la teoria della gravitazione di Newton, la teoria della relatività di Einstein, la meccanica quantistica, il marxismo, il freudismo, sono tutti programmi di ricerca, ciascuno con un caratteristico nucleo che viene tenacemente difeso, ciascuno con la sua più flessibile cintura protettiva e ciascuno con il suo elaborato apparato per risolvere problemi. Ciascuno di essi, in qualsiasi stadio del suo sviluppo, presenta problemi non risolti e anomalie non ancora assimilate. [...] Quando Newton pubblicò i suoi *Principia*, era generalmente noto che il suo sistema non era in grado di spiegare correttamente neppure il moto della Luna; di fatto il moto della Luna confutava Newton. Kaufmann, un illustre fisico, confutò la teoria della relatività di Einstein nell’anno stesso in cui essa fu pubblicata. Ma tutti i programmi di ricerca che ammiro hanno una caratteristica in comune. Predicono tutti fatti nuovi, fatti che non erano stati neppure immaginati o che erano addirittura stati contraddetti da programmi precedenti o rivali. Nel 1686, quando Newton pubblicò la sua teoria della gravitazione, vi erano, per esempio, due teorie correnti riguardo alle comete. [...] Halley, lavorando sul programma di Newton, calcolò in base all’osservazione di un breve tratto del percorso di una cometa, che essa sarebbe ritornata dopo settantadue anni; calcolò al minuto il momento in cui si sarebbe rivista in un ben definito punto del cielo. La cosa era incredibile. Ma settantadue anni dopo, quando sia Newton che Halley erano morti da tempo, la cometa di Halley ritornò esattamente nel modo da lui predetto. Oppure, prendiamo il programma di Einstein. Questo programma fece la sorprendente predizione che se si misura la distanza fra due stelle durante la notte e la si misura poi durante il giorno (quando esse sono visibili durante un’eclisse di sole), le due misurazioni risulteranno differenti. Nessuno aveva mai pensato di fare una simile osservazione prima del programma di Einstein. Così in un programma di ricerca progressivo, la teoria conduce alla scoperta di fatti nuovi finora sconosciuti. Nei programmi di ricerca regressivi, invece, le teorie vengono inventate solo fine di accogliere i fatti noti. Per esempio, il marxismo ha mai predetto forse un fatto nuovo e sorprendente con successo? [...] I marxisti hanno spiegato tutti i fallimenti. [...] Ma le loro teorie ausiliari erano tutte inventate con il senno di poi, per proteggere la teoria marxiana dai fatti. Il programma newtoniano condusse a fatti nuovi; quello marxiano è rimasto indietro rispetto a essi e ha corso velocemente per raggiungerli. Ebbene, come avvengono le rivoluzioni scientifiche? Se abbiamo due programmi di ricerca rivali dei quali uno è progressivo mentre l’altro è regressivo, gli scienziati tendono ad aderire al programma progressivo. È questa la base razionale delle rivoluzioni scientifiche. [...] I programmi nascenti devono essere trattati con indulgenza: possono occorrere decenni perché un programma decolli e diventi empiricamente progressivo.”

Dunque secondo Lakatos la costruzione della “scienza matura” avviene intervenendo non sul nucleo di un programma di ricerca, ma sulle ipotesi ausiliarie: è per questo che definisce il progresso scientifico uno “slittamento di problema progressivo”.

Con Lakatos viene ulteriormente sottolineato il valore non assoluto della scienza, e viene indicato il concetto di programma di ricerca come nucleo teorico che si spera di salvare. Siamo passati dunque dalla concezione popperiana secondo cui gli scienziati dovrebbero cambiare le proprie conoscenze teoriche continuamente, o perlomeno ogni qual volta si presenti un fatto non previsto, ad una visione molto più flessibile secondo cui i casi in cui si cambia programma di ricerca sono davvero rari, mentre ciò su cui si interviene sono le ipotesi ausiliarie. Tra l’altro si è capito come

non esistono sempre teorie alternative, e anzi secondo Lakatos si cambia programma di ricerca solo se ne esiste un altro valido disponibile. Altra caratteristica del suo pensiero è la negazione di ogni valore alla metafisica: il progresso scientifico è un fatto puramente razionale che risponde a precise regole; ciò lo porta a tacciare Kuhn di irrazionalismo. Ma a mio parere una visione così rigida non può essere accettata: scegliere se effettuare o meno un'esperienza, decidere quali ambiti di ricerca approfondire e come interpretare un fenomeno sono valutazioni che spesso, per la natura stessa della scienza, non è possibile fare in modo del tutto razionale. Ad esempio un fenomeno può essere ugualmente letto alla luce di diverse chiavi interpretative, tutte logicamente sullo stesso livello: quale preferire, è una scelta che spetta all'individualità dello scienziato.

### § *Contesto storico – culturale in cui si sviluppa l'opera di Newton*

Bisogna adesso compiere un salto cronologico e portarsi nel periodo compreso tra il 1500 e il 1600. In particolare nel 1687 fu pubblicato il *Philosophiæ naturalis principia mathematica* di Newton; siamo nel culmine di quel periodo generalmente noto come epoca della rivoluzione scientifica, e a cui si dà inizio nel 1543 con la pubblicazione del *De revolutionibus* di Copernico. Ovviamente datare una rivoluzione culturale è sempre un'impresa ardua; ciò è particolarmente vero in questo caso. Vedremo infatti come il pensiero di Newton debba essere inquadrato alla luce delle conoscenze scientifiche e delle correnti filosofiche non solo degli anni più vicini, ma anche di quelli remoti e apparentemente molto diversi.

Uno degli aspetti della storia della fisica che in questa sede vale la pena ricordare è che nei secoli precedenti alla rivoluzione scientifica non è esistita la fisica come branca autonoma, ma la spiegazione della natura e del cosmo era in genere parte integrante di un completo sistema filosofico, per cui spesso anche le spiegazioni date ai fenomeni osservati quotidianamente rispondevano più che altro ad esigenze di coerenza e organicità con il sistema filosofico che stava a monte della spiegazione stessa. Dal punto di vista delle conoscenze scientifiche non si assiste mai ad un vero e proprio radicale e improvviso cambiamento delle teorie sostenute, specie per quanto riguarda proprio la meccanica. Anzi i padri fondatori della fisica come Galileo e Newton in un certo senso si inseriscono in un dibattito avviato già nel medioevo quando viene distrutta la fisica aristotelica delle qualità e inizia la costruzione della fisica moderna. Ciò che invece cambia profondamente con Galileo è la concezione epistemologica della scienza. Lui pone metodologicamente fuori della scienza la domanda “che cos'è?": crea una fisica che parte dall'esperienza, determina relazioni matematiche tra i dati sperimentali e infine elabora una teoria al di fuori della quale nessun'altra domanda ha senso porre. Lui ad esempio non si chiede la causa della forza di gravità: si limita a studiarla negli effetti osservabili.

In questo contesto si pone l'opera di Isaac Newton, scienziato che (come peraltro abbiamo già avuto modo di vedere) ha segnato in modo indelebile la fisica per molti secoli. Non è importante solo per le sue scoperte astronomiche, ottiche e matematiche, ma anche per l'essersi occupato di questioni metodologiche ponendo le fondamenta della fisica moderna. Per valutare la portata di Newton basti ricordare la fede dogmatica che si ebbe per secoli nella sua meccanica, ma anche osservare che la scienza di Newton è la scienza di cui parla Kant, per il quale addirittura compito del filosofo è spiegare l'unicità e la verità della teoria di Newton. Inoltre è proprio lo stesso Newton alla fine dello *Scholium generale* a sostenere che la forza di gravità non è in grado solamente di spiegare fenomeni meccanici, ma ha la speranza che possa essere alla base anche di quelli elettrici, ottici e fisiologici. Scrive Einstein:

“Newton fu il primo che riuscì a trovare una base chiaramente formulata dalla quale poter dedurre un gran numero di fenomeni mediante il ragionamento matematico, logico, quantitativo e in armonia con l'esperienza. Invero, egli poteva giustamente sperare che la base fondamentale della sua meccanica sarebbe giunta col tempo a fornire la chiave per la comprensione di tutti i fenomeni”.

Va comunque precisato che a causa della predominanza in Europa del cartesianesimo, le sue opere ebbero un grande successo in paesi come Olanda e Gran Bretagna, ma rimasero a lungo

sconosciute altrove: si pensi che la prima traduzione in francese risale addirittura al settecento per opera di Voltaire.

### § *Le regole metodologiche indicate da Newton*

Abbiamo detto che uno dei cardini del pensiero di Newton è costituito dall'enunciazione di quattro regole metodologiche, che lui definisce "regole del ragionamento filosofico" e che troviamo all'inizio del libro III dei *Principia*:

*I. Non dobbiamo ammettere più cause delle cose naturali, di quante ce ne siano di vere e di sufficienti a spiegare le loro apparenze.* In questo senso i filosofi dicono che la natura non fa nulla invano, e il di più è vano quando il meno basta; perché la natura si compiace della semplicità e non affetta la pompa delle cause superflue.

*II. Perciò ai medesimi effetti naturali dobbiamo, per quanto è possibile, attribuire le medesime cause.* Così, ad esempio, la respirazione nell'uomo e nella bestia; la caduta di una pietra in Europa e in America; la luce del nostro fuoco di cucina e del sole; la riflessione della luce sulla terra e sui pianeti.

*III. Le qualità dei corpi che non ammettono incremento o decremento di grado, e che risultino appartenenti a tutti i corpi entro la sfera dei nostri esperimenti, debbono essere considerate qualità universali di tutti i corpi.* Poiché le qualità dei corpi ci sono note soltanto grazie agli esperimenti, dobbiamo considerare universali tutte quelle che si accordano universalmente con gli esperimenti; e quelle che non sono passibili di decrementi non possono mai essere tolte. Non dobbiamo certo lasciare l'evidenza degli esperimenti per correr dietro ai sogni e alle vane finzioni foggiate da noi stessi; né dobbiamo discostarci dall'analogia della natura, che è semplice e sempre conforme a se stessa. [...] L'estensione, durezza, impenetrabilità, mobilità e inerzia dell'insieme risultano dall'estensione, durezza, impenetrabilità, mobilità e inerzia delle parti; e ne concludiamo che le particelle minime di tutti i corpi sono anch'esse estese, dure, impenetrabili, mobili e dotate di una propria inerzia. E questo è il fondamento di tutta la filosofia. Inoltre, che le particelle divise ma contigue dei corpi sono separabili le une dalle altre è un dato d'osservazione; e, nelle particelle che rimangono indivise, la nostra mente è capace di distinguere altre parti più piccole, come si dimostra matematicamente. Ma se le parti così distinte e non ancora divise possano, mediante le forze della natura, essere realmente divise e separate le une dalle altre, non possiamo determinarlo con certezza. Eppure, se avessimo la prova, sia pure da un esperimento solo, che una particella indivisa subisce una divisione quando si spezza un corpo duro e solido, potremmo concluderne, in virtù di questa regola, che le particelle divise o indivise possono essere divise e realmente separate all'infinito. Infine, poiché risulta universalmente dagli esperimenti e dalle osservazioni astronomiche che tutti i corpi circumterrestri gravitano verso la terra, proporzionalmente alla quantità di materia che ciascuno di essi contiene; che analogamente la Luna, secondo la sua quantità di materia, gravita verso la Terra; che, d'altra parte, il nostro mare gravita verso la Luna; e tutti i pianeti l'uno verso l'altro; e le comete nello stesso modo verso il Sole; dobbiamo, in base a questa regola, ammettere universalmente che tutti i corpi sono dotati di un principio di gravitazione reciproca. Giacché la prova fenomenica dimostra con più forza la gravitazione universale di tutti i corpi che non la loro impenetrabilità; della quale, riguardo ai corpi celesti, non abbiamo esperimenti né osservazione alcuna. Non affermo che la gravità è essenziale ai corpi: parlando della loro *vis insita* designo null'altro che la loro inerzia. Questa è immutabile. La loro gravità decresce man mano che si allontanano dalla terra.

*IV. In filosofia sperimentale dobbiamo considerare le proposizioni tratte per induzione generale dai fenomeni come vere o molto approssimate, nonostante ogni ipotesi contraria che si possa immaginare, finché si presentino altri fenomeni che le possano rendere più*

*precise o le esponcano a eccezioni. Dobbiamo seguire questa regola affinché la prova induttiva non sia elusa mediante ipotesi”.*

Newton, anche se non lo dice mai esplicitamente, in questo passo compie una vera e propria operazione filosofica, individuando, senza darne alcuna dimostrazione (anche perché si tratta di affermazioni indimostrabili sperimentalmente), dei postulati ontologici che secondo lui la natura segue. Per prima cosa Newton presuppone la semplicità della natura, da cui consegue che il fisico deve mirare a ricercare spiegazioni semplici. Altro postulato è che la natura è uniforme, cioè una sua proprietà osservata in determinate circostanze si ritrova sempre e ovunque anche se a prima vista altri fenomeni appaiono in modo diverso. Principio questo che in prima battuta ci permette di estendere le conclusioni fatte da fenomeni osservati a fenomeni non osservati. Ma la sua portata è se possibile maggiore: dietro questo principio troviamo una metodologia secondo cui ogni teoria va mantenuta immutata finché possibile, e si deve conservare la stessa teoria anche per i casi che si presentano come nuovi e in situazioni diverse. La terza regola è invece una chiara critica alla fisica delle qualità di Aristotele e serve anche a limitare il campo d’azione della fisica solo a ciò che è osservabile: le uniche qualità osservabili dei corpi sono estensione, durezza, impenetrabilità, inerzia. La gravità invece, contrariamente a quanto affermato da molti scienziati del tempo, non è una quantità essenziale dei corpi perché dipende fortemente dalla distanza. In seguito Newton pone un altro dei pilastri della sua filosofia, che ha segnato a lungo la ricerca scientifica: la tesi del corpuscolarismo. Dice Newton che fondamento della filosofia è che le stesse qualità che ritroviamo nei corpi, le dobbiamo ritrovare nelle parti di cui questi sono costituiti. Newton allo stato non può affermare la tesi di una divisibilità all’infinito della materia, ma la porta come ipotesi matematica. In sostanza il fatto che Newton sostenesse la teoria corpuscolare, come poi viene ribadito nel celebre articolo *Opticks*, ha sancito per molto tempo il rigetto da parte della comunità scientifica della teoria ondulatoria della luce, che per potersi affermare ha dovuto attendere l’opera di Einstein. Infine la quarta regola stabilisce che il metodo scientifico è quello induttivo.

Troviamo un’altra sentenza metodologica di Newton alla fine dello *Scholium generale*: “Fin qui ho spiegato i fenomeni del cielo e del nostro mare mediante la forza di gravità, ma non ho mai fissato la causa della gravità. Questa forza nasce interamente da qualche causa, che penetra fino al centro del Sole e dei pianeti, senza diminuzione della capacità, e opera non in relazione alla quantità delle superfici delle particelle sulle quali agisce (come sogliono le cause meccaniche) ma in relazione alla quantità di materia solida. [...] In verità non sono ancora riuscito a dedurre dai fenomeni la ragione di queste proprietà della gravità, e *non invento ipotesi*. Qualunque cosa, infatti, non deducibile dai fenomeni va chiamata ipotesi; e nella filosofia sperimentale non trovano posto le ipotesi sia metafisiche, sia fisiche, sia delle qualità occulte, sia meccaniche. In questa filosofia le proposizioni vengono dedotte dai fenomeni e sono rese generali per induzione. In tal modo divennero note l’impenetrabilità, la mobilità e l’impulso dei corpi, le leggi del moto e la gravità. Ed è sufficiente che la gravità esista di fatto, agisca secondo le leggi da noi esposte, e spieghi tutti i movimenti dei corpi celesti e del nostro mare”.

Si tratta della celebre sentenza “*Hypotheses non fingo*” con cui Newton in modo chiaro e conciso delimita l’ambito della ricerca: né le ipotesi metafisiche, né quelle non provate dai fatti sono scienza. Lui vuole conoscere la natura.

Alcune considerazioni personali possono essere fatte già a questo punto e riguardano l’enorme divergenza tra il pensiero di Newton e quello di Popper: entrambi si prefiggono di stabilire le regole basilari della prassi scientifica, ma i risultati sono antitetici. Una prima differenza si nota nella scelta del metodo: mentre Popper rigetta il metodo induttivo perché inconcludente, per Newton questo è l’unico modo per avere scienza. Ma ciò che ritengo interessante è l’affermazione di Newton secondo cui altri fenomeni osservati dopo l’enunciazione della teoria, o la rendono più esatta, o la assoggettano ad eccezioni. Newton in presenza di un’esperienza che per Popper avrebbe falsificato una intera teoria, non si sogna affatto di rigettare tutte le conoscenze già acquisite, semmai pone dei limiti di validità: in sostanza toglie l’esperimento dal campo d’azione della teoria. Nei fatti non si interviene sulla teoria, ma si mette da parte l’esperienza. Una



conoscenza costruita induttivamente non può mai secondo Newton essere rigettata perché errata: è e risulterà sempre vera e scientifica. Anzi nel commento alla terza regola afferma che possiamo avere conferme scientifiche “sia pure da un esperimento solo”: un solo fatto sperimentale basta per rendere una teoria conoscenza certa. Si capisce allora la tenacia con cui per secoli la meccanica classica è stata difesa. Altra differenza tra i due riguarda poi il fatto che Newton preliminarmente all’attività scientifica pone delle ipotesi sulla natura, che evidentemente hanno origine metafisica e dunque non potranno mai essere messe in discussione. Popper probabilmente le avrebbe accettate solo con un valore psicologico; certamente le avrebbe invece rigettate come non scientifiche, perché non falsificabili: chi può mai verificare che la natura si comporta o meno nel modo più semplice? E in che senso intendere il termine “semplice”? Lo stesso principio dell’uniformità ha molto di metafisico perché estende conoscenze scientifiche (in quanto ricavate dall’esperienza) a fatti non controllati e forse non controllabili sperimentalmente. Popper li avrebbe posti al di fuori della scienza. Identico discorso vale per la teoria corpuscolare che Newton pone arbitrariamente come fondamento del comportamento della natura, limitando di fatto notevolmente il campo di indagine del fisico. Popper, ma ancor più Lakatos, avrebbero proprio evidenziato come quest’ipotesi metafisica abbia bloccato il progresso scientifico.

In quanto detto però sembra esserci una grave incoerenza: abbiamo visto che Newton dice “*Hypotheses non fingo*”; e invece per quanto detto or ora di ipotesi ne fa, e anche molto forti. Evidentemente non può trattarsi di una incoerenza. Penso che i postulati dati da Newton non devono essere considerati ipotesi nel senso che egli attribuisce a questo termine: quei postulati vanno intesi nel senso quasi di assiomi matematici, ovvero affermazioni chiare e ovvie a tutti coloro che utilizzano la ragione, e che dunque non devono essere provati; non sono ipotesi da cui far scaturire una eventuale dimostrazione o verifica, ma affermazioni evidenti, scontate, e pertanto indimostrabili. A mio parere le ipotesi di cui parla Newton riguardano più che altro quei tentativi di spiegazione della natura che non rispondono al carattere induttivo e sperimentale che lui pretende (l’esempio migliore credo sia ancora una volta la fisica delle qualità, ma anche le affermazioni sostenute da Cartesio circa la non esistenza del vuoto, che Newton critica aspramente), e che dunque non possono essere oggetto d’indagine. Sono ipotesi tutte quelle affermazioni non provate e non provabili attraverso fatti sperimentali, e comunque ogni ricerca di cause prime dei fenomeni osservati. Come detto in precedenza, nel momento in cui un ricercatore si pone di fronte alla natura, il rapporto non può essere libero da pregiudizi: è forse inevitabile che si pongano dei postulati che fungono poi da guida alla vera e propria indagine scientifica. Ed è questo ciò che fa Newton.

Ultima osservazione riguarda il valore da attribuire alla scienza. Per Newton come abbiamo visto le ipotesi sono al di fuori della fisica. La scienza non è congettura, ma certezza, potremmo dire *episteme* in quanto provata da fatti sperimentali. Al contrario Popper, che vive circa trecento anni dopo, si rende conto che i fatti sperimentali non provano nulla in modo definitivo e dimostra che la scienza è intrinsecamente un’ipotesi, nel senso di una congettura mai provata definitivamente. Si coglie benissimo il passaggio da una scienza cui si attribuisce valore assoluto e definitivo, ad una scienza cui si attribuisce valore relativo e limitato.

### § *La questione teologica per Newton*

Alla fine di quanto finora detto si potrebbe pensare che Newton nelle sue opere non tratti in alcun modo di problemi non scientifici. E invece basta restare nello *Scholium generale* per trovare una lunga parentesi dedicata ad un quesito di natura teologica. È chiaro che Newton vive in un periodo in cui la presenza cattolica è dominante e la Chiesa esercita un forte dominio e un rigido controllo sulla cultura. Le sue teorie, specie quelle astronomiche, avrebbero facilmente trovato ostacoli all’interno della Chiesa, e dunque è prevedibile che Newton voglia chiarire il suo pensiero in ambito teologico. Ridurre però questa parte del suo pensiero solo ad un espediente per evitare la censura credo sia banale; certamente è presente questo proposito, ma credo che in ogni caso Newton avrebbe inserito questo discorso nella sua opera, che non vuole essere un semplice

manuale, ma un trattato organico della fisica e dei suoi principi. E il problema del rapporto tra scienza e fede non può essere evitato. Anche in questo caso ricorriamo al testo originale:

“Questa elegantissima compagine del Sole, dei pianeti e delle comete non poté sorgere senza il progetto e la potenza di un ente intelligente e potente. E se le stelle fisse sono a loro volta centri di sistemi analoghi, tutti questi, essendo costruiti con identico disegno, saranno soggetti al potere dell’Uno: soprattutto in quanto la luce delle stelle fisse è della medesima natura della luce del Sole e tutti i sistemi inviano la luce reciprocamente verso tutti gli altri. E affinché i sistemi delle stelle fisse non cadano l’uno sull’altro, a causa della gravità, Egli pose una distanza immensa tra loro. Egli regge tutte le cose non come anima del mondo, ma come signore di tutti gli universi e per il suo dominio suole essere chiamato Signore Dio *Pantocrátor*. [...] Egli è eterno e infinito, onnipotente e onnisciente, dura dall’eternità per l’eternità, ed è presente nell’infinito dalla infinità. Regge tutto e conosce tutto, sia le cose che avvengono, sia quelle che possono avvenire. Non è eternità e infinità, ma è eterno e infinito; non è durata e spazio, ma dura ed è presente. Dura sempre ed è presente ovunque, e poiché esiste sempre e ovunque, costituisce la durata e lo spazio, la infinità e l’eternità. Dio non è onnipresente per la sola virtù, ma anche per la sostanza, giacché non può sussistere virtù senza sostanza. In Lui gli universi sono contenuti e mossi, ma senza nessun reciproco turbamento. Dio non patisce niente a causa dei moti dei corpi i quali non avvertono alcuna resistenza a causa dell’onnipresenza di Dio. E manifesto che il sommo Dio deve esistere necessariamente, e in virtù della medesima necessità è sempre e ovunque. [...] Dei corpi vediamo soltanto le figure e i colori, sentiamo soltanto i suoni, tocchiamo soltanto le superfici esterne, odoriamo soltanto gli odori e gustiamo i sapori, ma non conosciamo le sostanze intime con nessun senso, con nessuna attività riflettente; e molto meno abbiamo un’idea della sostanza di Dio. Noi lo conosciamo soltanto attraverso le sue proprietà ed attributi e per la sapientissima ed ottima struttura delle cose e per le cause finali; e lo ammiriamo in virtù della perfezione, ma in verità lo veneriamo e lo adoriamo a causa del suo dominio. [...] L’intera diversità per luoghi e per tempi delle cose create poté sorgere soltanto dalle idee e dalla volontà di un Ente necessariamente esistente. [...] E tutto questo intorno a Dio: intorno al quale è compito della filosofia naturale parlare partendo dai fenomeni”.

Newton quindi sostiene che il fisico studia i fenomeni naturali, non la loro essenza. Ma nel momento stesso in cui vede la natura, comprende l’esistenza di Dio, che tra le altre cose viene definito eterno ed infinito, che dura ed è presente (affermazione che avrà importanza quando vedremo le sue definizioni di spazio e tempo assoluti). Quale rapporto allora intercorre tra scienza e fede? Il fisico studia la natura ma così facendo conosce Dio, che appunto può essere conosciuto solo attraverso le sue opere. Il fisico allora non deve ignorare Dio (ecco il senso di questo discorso all’interno dei *Principia*); anzi, partendo dai fenomeni, lo scienziato parla di Dio: Dio e la teologia non sono al di fuori della scienza, come invece sosterranno molti filosofi e scienziati in seguito. La scienza, basata sui fenomeni e sulle osservazioni e non su ipotesi non provate, è invece uno strumento giusto per poterLo conoscere.

### § *I principi della meccanica newtoniana*

L’impostazione che Newton dà ai *Principia* è quella di un trattato scientifico, e a quel tempo era la matematica ad essere la disciplina logica e coerente per antonomasia. L’opera è quindi strutturata come una serie di definizioni prima, poi le tre leggi della dinamica, e infine una serie di teoremi e corollari, che seppur riguardanti fatti fisici, sono sempre corredati da una rigida dimostrazione matematica, o meglio geometrica. Le prime definizioni, peraltro molto criticate da alcuni commentatori (soprattutto Mach), riguardano i concetti di massa, quantità di moto, forza insita, forza impressa, forza centripeta. Ma ciò su cui mi voglio preliminarmente soffermare riguarda i concetti di spazio e tempo. Nel testo troviamo:

“Non definisco tempo, spazio, luogo e moto, in quanto notissimi a tutti. Va notato tuttavia, come comunemente non si concepiscano queste quantità che in relazione a cose sensibili. Di qui nascono i veri pregiudizi, per eliminare i quali conviene distinguere le medesime qualità in assolute e relative, vere e apparenti, matematiche e volgari:

I Il tempo assoluto, vero, matematico, in sé e per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, scorre uniformemente, e con altro nome è chiamato durata; quello relativo, apparente e volgare, è una misura (esatta o inesatta) sensibile ed esterna della durata per mezzo del moto, che comunemente viene impiegata al posto del vero tempo: tali sono l'ora, il giorno, l'anno.

II Lo spazio assoluto, per sua natura senza relazione ad alcunché di esterno, rimane sempre uguale ed immobile; lo spazio relativo è una misura o dimensione mobile dello spazio assoluto, che i nostri sensi definiscono in relazione alla sua posizione rispetto ai corpi, ed è comunemente preso al posto dello spazio immobile; così la dimensione di uno spazio sotterraneo, aereo o celeste viene determinata dalla sua posizione rispetto alla Terra. Lo spazio assoluto e lo spazio relativo sono identici per grandezza e specie, ma non sempre permangono identici quanto al numero. [...]

III Il luogo è la parte dello spazio occupata dal corpo, e, a seconda dello spazio, può essere assoluto o relativo. Dico parte dello spazio, non posizione del corpo o superficie che lo circonda. Infatti i luoghi di solidi eguali sono sempre eguali; invece le superfici, a causa della dissomiglianza delle figure, sono molto spesso ineguali; le posizioni, a rigore, non hanno quantità, e non sono tanto luoghi quanto proprietà dei luoghi. Il movimento dell'insieme è identico alla somma del movimento delle parti, ossia, la traslazione del tutto dal proprio luogo è identica alla somma della traslazione delle parti dai propri luoghi; quindi il luogo dell'intero è identico alla somma dei luoghi parziali e pertanto è interno ed in tutto il corpo.

IV Il moto assoluto è la traslazione di un corpo da un luogo assoluto in un luogo assoluto, il relativo da un luogo relativo in un luogo relativo. [...] Definiamo infatti tutti i luoghi dalle distanze e dalle posizioni delle cose rispetto a un qualche corpo, che assumiamo come immobile; ed in seguito, in quanto consideriamo i corpi come trasferiti da quei medesimi luoghi in altri. Così, invece dei moti e dei luoghi assoluti usiamo i relativi; né ciò riesce scomodo nelle cose umane: ma nella filosofia occorre astrarre dai sensi. Potrebbe anche darsi che non vi sia alcun corpo in quiete al quale possano venir riferiti sia i luoghi che i moti. La quiete e il moto, assoluti e relativi, si distinguono gli uni dagli altri mediante le loro proprietà, le cause e gli effetti. La proprietà della quiete è che i corpi veramente in quiete giacciono in quiete fra loro”.

Dunque, Newton distingue tra lo spazio e il tempo che normalmente vengono osservati e misurati da tutti, e che hanno un ritorno pratico nella fisica (quelli relativi), e i concetti di spazio, tempo e luogo assoluti. Si tratta come lui stesso dice di concetti matematici, eterni, non dipendenti da altre definizioni, e sono necessari per la costruzione della sua meccanica. Ma prima di vedere in che senso, è necessario capire che valore hanno per Newton questi concetti assoluti. Per prima cosa è evidente il ritorno filosofico: Newton aggancia la sua fisica ad un'idea di cronotopo che ha valore oltre i fatti sperimentali, che dunque non potranno mai intaccarla. Si ricordi poi che quando Newton aveva parlato di Dio aveva detto che Egli è sempre e ovunque. Il legame con quanto detto ora è evidente: Dio non ha creato direttamente lo spazio e il tempo assoluti; questi sono però immanenti effetti di Dio, nel senso che lo spazio assoluto è costituito dalla presenza infinita di Dio, e il tempo assoluto dalla Sua infinita durata. Essi dunque sono enti eterni e in essi sono collocate tutte le cose. Infatti nulla può esistere se non è relazionata in qualche modo a questi concetti. È per questo motivo che così come l'esistenza degli esseri è postulata, anche l'esistenza di spazio e tempo deve essere postulata. Ma questi “enti” non sono solo costruzioni filosofiche: il pregio della meccanica di Newton, che le permise di sopravvivere a numerosi attacchi, è che viene data una giustificazione fisica per provare la loro esistenza. Newton infatti porta delle esperienze reali a loro verifica, esperienze che a lungo sono rimaste inconfutate, non solo per il fatto, come alcuni sostengono, che prima il peso delle considerazioni teologiche, poi l'autorevolezza del

pensiero kantiano che pone come forme a priori proprio questo spazio e questo tempo, ne hanno impedito un'analisi critica: come dice lo stesso Newton, esiste una distinzione tra moti assoluti e relativi giacché hanno effetti diversi. In particolare sono due le esperienze di cui parla nei *Principia*, ed entrambe riguardano le forze di allontanamento dall'asse del moto circolare. Si abbia un recipiente pieno di acqua appeso ad un filo, posto in rotazione fin quando il filo a causa della torsione non ruota più. Nel momento in cui si lascia libero il filo, il recipiente inizia a ruotare, pur l'acqua restando ferma. Solo in seguito anche l'acqua inizia a ruotare, e ciò si noterà dal fatto che sale lungo le pareti del recipiente, fin quando l'acqua e il vaso compiono la stessa rotazione, e dunque sono in quiete relativa. L'esperienza mostra chiaramente che il moto dell'acqua e il moto del recipiente si presentano indipendentemente l'uno dall'altro, a volte accoppiati, a volte disaccoppiati; anzi il moto assoluto dell'acqua è opposto al moto relativo: quando il moto relativo è massimo (il vaso ruota e l'acqua è ferma), il moto circolare assoluto non è ancora iniziato (è nullo). Alla fine, invece, l'acqua continua il suo moto assoluto, ma è in quiete rispetto al recipiente. Il vero moto circolare dell'acqua non può essere allora riferito al recipiente, ma va riferito allo spazio assoluto, e va valutato tramite l'effetto della forza di allontanamento, che si manifesta quando vi è uno spostamento assoluto dell'acqua. I moti relativi saranno invece infiniti, in relazione a cosa vengono riferiti. L'esperienza è una chiara prova della necessità dell'esistenza di spazio, tempo e luoghi assoluti. Tra l'altro per la prima volta si ha a disposizione un metodo per distinguere fisicamente tra teoria copernicana e tolemaica (e dunque affermare che quella copernicana non solo è corretta, ma essendo riferita allo spazio assoluto, è anche quella che mostra la reale struttura del cosmo). Altra esperienza: si hanno due globi legati da un filo e posti in rotazione intorno al comune centro di gravità. La rotazione provocherà la genesi di una forza di allontanamento, per cui misurando la tensione del filo, si potrà conoscere la quantità del moto circolare, e anche se il moto sta crescendo o decrescendo. Tutto questo, in un luogo qualunque, senza alcun riferimento a cose esterne a questo sistema: determiniamo un moto senza relativizzarlo a sistemi di riferimento particolari.

Come detto queste due esperienze costituiscono un solido fondamento per tutta la meccanica. Infatti Newton pone e dà senso alle tre leggi della meccanica proprio nello spazio assoluto e riferendosi al tempo assoluto. Ad esempio nella prima legge si parla di moto rettilineo uniforme: un tale moto è impossibile senza variazioni temporali della velocità, cosa che richiede l'assolutezza del tempo (va notata in questa sede una delle difficoltà che Newton non riesce a superare: egli dimostra l'esistenza dello spazio assoluto esclusivamente tramite moti circolari, mentre poi l'enunciato della legge riguarda moti rettilinei). Le tre leggi allora sono da intendere come assiomi, né confutabili né verificabili sperimentalmente (non hanno valore di necessità ma appaiono vere a tutti). Va osservato poi che le leggi non sono nella forma esatta in cui le conosciamo noi, in special modo la seconda legge, in cui rimane il retaggio della fisica medioevale della proporzionalità tra la forza e la quantità di moto invece dell'accelerazione, e in cui resta il dubbio sul significato da attribuire al termine forza: Newton nel libro definisce vari tipi di forze, e qui non chiarisce. Infine, circa la terza legge è interessante notare che secondo Mach questa è una delle grandi conquiste di Newton per la sua enunciazione generale e precisa.

### § *Considerazioni personali*

Da quanto detto finora e dal rigore formale con cui Newton fonda la fisica moderna, si coglie la portata della sua rivoluzione. Lui in sostanza definisce in modo chiaro alcuni termini d'uso corrente in fisica; dimostra poi sperimentalmente l'esigenza di introdurre i concetti di spazio, tempo e luoghi assoluti, e su questi pone le tre leggi della meccanica, la cui validità allora, pur trattandosi di assiomi, è strettamente collegata al fatto sperimentale. Prima considerazione da fare è che molti concetti presenti dei *Principia* furono col tempo modificati, ma non per questo fu mai messa in dubbio la validità dell'intera opera newtoniana. È evidente che il suo successo non deriva solo dalla correttezza dei concetti fisici in essa contenuti, ma dalla solida impostazione teorica su cui poggia. Distruggere questa costruzione voleva dire confutare quei due esperimenti

di cui abbiamo parlato, cosa realmente difficile. Il primo che ci riuscì fu Mach. Si ricordi che nella critica a Newton, Mach rigetta con sdegno le idee di spazio e tempo assoluti. Egli infatti lo accusa in questi passi di aver tradito il suo intento di attenersi ai fatti: considera inutili e superflui questi concetti, in primo luogo perché non potendoli rapportare a fatti scientifici, li considera concetti metafisici (Mach è un positivista); poi perché i concetti di spazio e tempo relativi sono sufficienti a spiegare tutti i fenomeni osservati, e in particolare per misurare il tempo basta riferirsi ad un moto scelto arbitrariamente, di andamento parallelo alla nostra sensazione di tempo (che non ammetta un cambiamento di direzione), mentre per avere un sistema di riferimento assoluto, basta riferirsi al cielo delle stelle fisse (come ha fatto Galileo e non ha voluto fare Newton). Ovviamente alla base di queste critiche vi è la confutazione dei due esperimenti portati da Newton, che Mach definisce “arbitrarie fantasticherie”. Ad esempio secondo lui nel sistema di Newton, costituito solo dai due globi, non ha senso parlare di forze perché non ci sono corpi su cui esplicitarle, e dunque è impossibile distinguere la quiete dal moto. In effetti Newton non dice in che modo misurare la tensione del filo che lega i due globi: per noi oggi il fatto di misurare una forza, implica che questa forza sia applicata ad un corpo, fosse anche lo strumento di misura.

La domanda che voglio pormi ora è: Popper avrebbe accettato come scientifici i concetti di spazio e tempo assoluti? Come sappiamo per lui elemento indispensabile è che questi concetti possano essere falsificati, cioè che possa essere prevista, almeno in modo teorico, una serie di falsificatori potenziali. Ma ciò appare del tutto improponibile. Newton stesso pone questi due concetti al di fuori dell’attività scientifica, che invece prende come riferimenti spazio e tempo relativi. La differenza tra i due è enorme: ciò che Newton pone alla base della meccanica, per Popper è assolutamente non scientifico. E anche le due esperienze (il recipiente pieno d’acqua e i due globi) hanno per i due valore opposto. Infatti per Newton provano in modo definitivo e chiaro la veridicità, anche fisica, sperimentale, e non solo teorica delle sue definizioni: una volta che i due esperimenti hanno verificato il suo asserto, i concetti di spazio e tempo assoluti per lui hanno un valore di conoscenza scientifica certa e definitiva, in grado di reggere l’impalcatura della sua meccanica per sempre. Al contrario Popper, se mai avesse accettato il senso dei due esperimenti, in ogni caso avrebbe detto che non garantiscono nulla, e per di più non risolvono affatto quella che sarebbe dovuta essere l’attività di Newton, che probabilmente secondo Popper avrebbe dovuto cercare esperienze che provavano la falsità di questi enti. Ma è lecito chiedersi: Newton avrebbe avuto, come invece sostiene Popper, una volta eventualmente falsificati questi concetti, altre teorie ugualmente scientifiche e in grado di reggere la meccanica che si stava costruendo? È vero che a quel tempo vi era la teoria di Cartesio come alternativa, ma Newton vuole proprio liberarsi da questa, e dai suoi retaggi filosofici che non hanno alcun legame con i fatti sperimentali. E in ogni caso il potere esplicativo delle due teorie non era affatto di pari livello: la teoria di Newton probabilmente sarebbe apparsa in ogni caso migliore perché riusciva a spiegare un insieme di fenomeni così vasto da meritare una fiducia maggiore dell’altra. Altra domanda che è lecito porsi è: anche nel caso in cui a Newton fossero state portate esperienze contrastanti con i concetti di spazio e tempo assoluti, avrebbe mai accettato di considerarli falsi e dunque li avrebbe eliminati dalla sua teoria? Innanzitutto si ricordi che ciò che per Newton è stato costruito col metodo induttivo è vero: avrebbe pertanto sostenuto che le nuove esperienze non possono contraddire le altre, e semmai soggiacciono ad altre ipotesi. In secondo luogo, viste le motivazioni logiche, religiose, filosofiche che vi stanno dietro, penso proprio che Newton avrebbe comunque continuato a sostenere la sua teoria, ed eventualmente trovato le giuste obiezioni alle critiche. È evidente che i due hanno una concezione di scienza davvero antitetica.

### *§ La costruzione della teoria della gravitazione come esempio di attività scientifica*

Il tentativo di fornire una spiegazione a fenomeni quotidiani, come la caduta dei corpi, ha interessato l’uomo fin dai tempi antichi. Per comprendere il percorso che porta alla fisica di Newton bisogna partire in buona sostanza dalla filosofia di Aristotele, la filosofia delle qualità e dei luoghi naturali, secondo cui è una tendenza di tutti i corpi quella di tendere verso il proprio

luogo naturale, appunto il centro della terra per i gravi. Il fatto osservato viene inserito in un sistema filosofico molto più ampio e complesso. Le conoscenze che si avevano circa il moto dei gravi erano molto vaghe e non era ancora assodato neanche il fatto che il grave scendendo aumentasse la sua velocità. Un vero e proprio cambiamento negli studi della dinamica si ha nel medioevo. Il contributo secondo me più interessante a questo percorso è quello di Buridano. Egli in primo luogo confuta molte delle idee diffuse nel suo tempo: ad esempio si giustificava il fatto che la velocità alla fine della caduta fosse maggiore che all'inizio dicendo che, poiché il moto riscalda, il grave scendendo riscalda l'aria sottostante rarefacendola, e dunque nel suo cammino trovava sempre meno aria, cioè meno resistenza al moto; oppure dicendo che nella parte finale del moto poiché l'aria che si trova davanti al grave è meno che all'inizio, il grave trova meno ostacolo al suo cammino, e dunque aumenta la sua velocità. La teoria di Buridano è per certi versi innovativa e rivoluzionaria. Egli afferma, sulla scorta della filosofia delle qualità, che la gravità è una qualità dei corpi, sempre uguale. Considera però una nuova potenza motrice, l'*impetus*, che si acquisisce solo col moto, e che dunque interviene dopo gli istanti iniziali aggiungendosi alla gravità, che rimane comunque sempre uguale. E più aumenta la velocità, più aumenta l'*impetus*. Le novità conseguenti all'introduzione di questa nuova grandezza sono notevoli: questa qualità non è né intrinseca, né estrinseca ai corpi; è proporzionale alla quantità di moto del corpo, e per la prima volta rompe la dicotomia tra moti naturali e violenti imposta dalla fisica aristotelica. Inoltre in questo modo per spiegare il moto eterno dei corpi celesti non è più necessario ricorrere ad intelligenze motrici, dato che è l'*impetus*, impresso all'inizio della creazione, a garantire l'eterno moto, che peraltro non trova altri ostacoli: si legano per la prima volta, anche se implicitamente, i fenomeni terrestri ai fenomeni celesti.

Successivamente un'altra grossa novità è introdotta da Galileo: lui per primo col termine gravità unisce in modo esplicito tutta una serie di fenomeni diversi, sia terrestri che celesti. Afferma inoltre che non è oggetto della fisica conoscere quale sia la vera natura della gravità, ma dai suoi scritti sembra trasparire il convincimento che la gravità sia ancora un fattore essenziale dei corpi: non riesce ad immaginare un corpo senza gravità, e ciò non gli permette di spiegare perché, durante la caduta, la velocità del grave è proporzionale al tempo trascorso, come egli stesso aveva verificato. Introduce allora un concetto molto vicino all'*impetus*, il momento, che però non è legato alla velocità del corpo, ma alla posizione del grave, ovvero alla sua distanza dalla superficie terrestre. Si effettua un ulteriore passo avanti, anche se resta l'identità tra gravità e quantità di moto, ovvero la velocità. Un ultimo passaggio sarà compiuto proprio da Newton: l'elaborazione vera e propria della legge di gravitazione è stata una sua grande conquista.

Abbiamo detto che nei *Principia* Newton definisce vari tipi di forze; in sostanza tiene distinti i fenomeni legati all'urto, in cui la forza risulta essere proporzionale alla quantità di moto, e i fenomeni tipici della caduta dei gravi. In questo caso agisce la forza che chiama centripeta la cui quantità assoluta dipende "dalla causa che la diffonde". Per prima cosa chiarì che la gravità non è una qualità essenziale per i corpi, anzi, al contrario della forza di inerzia, è una forza esterna al corpo, e dunque non è sempre costante e prova che diminuisce allontanandosi dal centro della terra, così come i corpi, se vicini al centro della terra, sono più pesanti che se lontani (si valuti la portata rivoluzionaria di questa affermazione, in un periodo in cui i concetti di massa e peso non erano ancora distinti). Newton poi dimostra che questa forza non può smorzarsi troppo rapidamente (al massimo deve essere proporzionale a  $r^{-3}$ ). Siamo assistendo alla costruzione della legge di gravitazione universale. Ma prima bisogna compiere un ultimo passo avanti, che lui può fare in virtù della sua metodologia di lavoro. Infatti già personaggi come Keplero, Galileo, Huygens avevano in modo personale e incompleto trovato molte delle leggi che regolano i corpi celesti, anche se in modo empirico. La grandiosità di Newton sta nell'aver affermato con grande audacia che ciò che vale per i corpi sulla terra, poiché la natura si comporta in modo uniforme, vale anche per i corpi celesti: l'accelerazione dei pianeti non è essenzialmente diversa da quella di gravità. Questo passaggio, esclusivamente teorico, è quello che secondo Mach è un potente slancio della fantasia, ma è quello che porta a grandi risultati scientifici. Nello *Scholium generale* troviamo scritto:



“I proiettili nella nostra aria risentono della resistenza della sola aria. Eliminata l’aria, come avviene nel vuoto boyleano, la resistenza cessa; in tal modo una piuma leggera e il pesante oro precipitano in questo vuoto con velocità uguale. E un identico ragionamento vale anche per gli spazi celesti che stanno sopra l’atmosfera della terra. Tutti i corpi in questi spazi devono potersi muovere liberissimamente; perciò i pianeti e le comete devono poter ruotare in perpetuo, in orbite date per specie e per posizione, secondo le leggi esposte sopra”.

L’idea della gravitazione universale era comparsa già in altri fisici, che tuttavia si erano limitati a congetture e discussioni. È Newton il primo che la inserisce in un pensiero di ampio respiro. E lo fa in modo stimolante, nel senso che collega fenomeni finora considerati di natura diversa; e convincente, nel senso che riesce a trovare i tratti peculiari di tutti questi fenomeni, alcuni dei quali (ad esempio le maree) erano restati a lungo avvolti nel mistero. La teoria viene poi completata con la dimostrazione delle leggi di Keplero e con la dimostrazione che solo una forza la cui dipendenza funzionale dalla distanza vada come  $r^{-1}$  o  $r^{-2}$  produce traiettorie dei pianeti su orbite ellittiche stabili. Rimane ora un’ultima cosa da spiegare: il modo in cui questa forza agisce. Newton è convinto che la gravitazione universale sia un fatto reale, ma non riesce a trovare delle spiegazioni alla sua azione. Dato che la gravità non è più una qualità dei corpi, ma agisce a distanze molto notevoli, Newton fu accusato di reintrodurre qualità occulte di aristotelica memoria. A lui in effetti sembra assurdo pensare che questa forza possa agire attraverso lo spazio vuoto, e dunque vuole rifiutare il concetto di azione a distanza, ma non vuole sbilanciarsi sulla natura materiale o immateriale dell’eventuale agente intermedio.

Va precisato a questo punto che Newton si rende conto della portata della sua teoria e dei rischi cui andava incontro sostenendola. Forse a questo proposito, Newton tiene spesso a precisare che i suoi sono solo “concetti matematici”: lui dice di non considerare le cause e le sedi fisiche delle forze, ma di immaginare le sue forze come enti matematici applicati a punti matematici, non a centri di natura fisica. Certamente questa precisazione tenta di rendere innocua la sua teoria e di metterla al riparo da critiche di ordine teologico; quanto Newton creda in quel che dice è un discorso diverso.

Ho scelto di ripercorrere in modo sintetico la storia che ha portato alla legge di gravitazione universale perché credo sia interessante analizzarla in quanto esempio di genesi, elaborazione e perfezionamento di una teoria scientifica. In particolare ciò che mi interessa maggiormente è capire l’atteggiamento dei vari fisici, e di Newton in particolare, nella costruzione di questa teoria – che tanta importanza ha nella fisica ancora oggi – per confrontarlo con l’idea di Popper e con le sue proposte, non solo con lo scopo di evidenziare congruenze e incongruenze, ma soprattutto per valutare fino a che punto sono condivisibili le scelte dell’uno piuttosto che le idee dell’altro.

Ciò che risalta subito agli occhi è che non si può individuare con precisione un momento in cui è nata in modo chiaro e completo la teoria della gravitazione: questa non è il frutto di una rivoluzione, nel senso di un cambiamento improvviso dalle conoscenze precedenti a quelle nuove. Anzi credo sia corretto parlare di un processo di costruzione della teoria, processo che, come si è visto, inizia secoli prima di Newton e si avvale dell’opera di molti scienziati, ognuno dei quali contribuisce in piccola parte, correggendo alcune credenze, modificando alcuni concetti, introducendone di nuovi. Ciò che voglio sottolineare è che l’idea di Popper secondo cui il passaggio da una teoria all’altra è un processo istantaneo (o quasi) che avviene nel momento in cui una teoria è falsificata, è un’idea fuori dalla prassi comune. In primo luogo perché a ben pensare il processo di evoluzione delle conoscenze non è mai avvenuto in seguito ad una vera e propria falsificazione delle teorie precedenti: si è trattato piuttosto di un lungo dibattito in cui si sono scontrate posizioni diverse (anche filosoficamente) e che ha portato all’affermazione di una teoria piuttosto che di un’altra, senza che nei vari passi quest’ultima sia mai davvero eliminata e sostituita, ma solo corretta ed eventualmente allargata. In ogni caso si tratta di un processo molto lungo, processo che è soprattutto opera di convincimento: le vere difficoltà che i vari scienziati, compreso lo stesso Newton, si trovarono ad affrontare, riguardarono il far accettare dalla comunità scientifica le nuove teorie; comunità ancorate saldamente alle conoscenze possedute e che difficilmente accettano di modificare il proprio sistema di pensiero, anche se di fronte ad evidenze sperimentali. Ma c’è di più: nessuno degli scienziati che abbiamo incontrato inizia la sua opera dal



nulla. Il primo passo per tutti è lo studio delle teorie già presenti, e poi si interviene, in ogni caso operando all'interno di queste. In questo senso ha molta ragione Kuhn quando ritiene di aver elaborato la sua idea come riflesso del vero funzionamento delle comunità scientifiche.

Altra osservazione che ritengo importante è il ruolo dell'esperienza e del substrato metafisico. Si ricorderà che Popper sottolinea sempre il fatto che la scienza debba rapportarsi continuamente con il fatto sperimentale, mentre la metafisica deve avere solo un ruolo psicologico. Newton e gli altri fisici fanno davvero così? Abbiamo visto in modo chiaro come le proprie idee filosofiche e religiose siano sempre il loro punto di partenza, e con queste si confrontano continuamente come riferimento cui uniformare quanto si sta per costruire. Non credo sia solo un fatto opportunistico che Newton evidenzi spesso che le sue teorie sono pienamente sovrapponibili con i dogmi di fede. Ma a parte questo, le sue regole metodologiche sono intrinsecamente metafisiche, e non sono affatto di contorno all'elaborazione della sua teoria. A tal proposito ho fatto notare come l'unione tra la gravità sulla terra e la gravità per i corpi celesti avvenga solo in forza del principio di uniformità della natura, che è un assioma senza alcun rapporto con il fatto sperimentale. Se Newton avesse scelto un altro principio, la conclusione cui arriva non sarebbe stata lecita. Altra considerazione riguarda il ruolo degli esperimenti. Certamente Newton prima di elaborare la sua teoria ha compiuto molte osservazioni e molte esperienze, anche semplici. Ma nella sua opera sembra prevalere non l'attenzione agli esperimenti, quanto l'attenzione alla coerenza e al rigore matematico. Questo però credo possa essere spiegato bene all'interno del contesto in cui lui scrive, e in particolare pensando all'importanza che la matematica aveva rispetto alle altre discipline; ma anche pensando alla volontà di mettersi al riparo da ogni critica poiché attraverso un ragionamento matematico lui aveva la pretesa, almeno ufficialmente, di non descrivere la vera essenza del mondo. C'è poi da dire che la matematica è lo strumento indicato dallo stesso Newton come linguaggio della nuova fisica, e va ricordato che nello scrivere l'opera Newton era costretto a dare un'esposizione ampia, solida, rigorosa, vista la novità delle argomentazioni, che potevano apparire difficili (e infatti come detto non furono accolte facilmente). Gli esperimenti entrano a far parte del discorso col ruolo fondamentale di fornire prove certe e definitive sulla veridicità delle affermazioni fatte. Si tratta spesso di esperimenti concettuali (si pensi anche solo ai due sistemi di cui ho parlato in questa tesina, quello costituito esclusivamente dai due globi e quello costituito da un secchio di acqua in rotazione), ma la loro presenza garantisce successo e un ruolo di conoscenza certa alla teoria nel suo complesso. È presente cioè l'idea di esperimento (anche uno solo) che verifica definitivamente una teoria, mentre Popper dirà che né uno né infiniti esperimenti verificano mai una teoria.

Ultima osservazione riguarda uno dei presupposti della filosofia di Popper: il fatto che si hanno sempre a disposizione infinite teorie per spiegare uno stesso fenomeno. Ho già detto che questo non mi sembra avere riscontro nella realtà, e l'esempio della legge della gravitazione credo ne sia una chiara dimostrazione: Newton non aveva a disposizione più teorie, e tra tutte ne ha scelta una. Piuttosto la teoria finale è stata il frutto di un processo di costruzione che non poteva forse approdare ad altre o diverse conclusioni.

## *§ Conclusione*

Il problema da cui sono partito all'inizio di questa tesina consisteva nel confrontare la visione di Isaac Newton, come miglior esponente per comprendere il significato della scienza classica, e la visione di Karl Popper, come miglior rappresentante di quella cultura che sta alla base della visione moderna della scienza. Ho voluto appositamente partire dal più recente in ordine cronologico, in modo da iniziare col capire il significato di una teoria scientifica secondo la cultura novecentesca, per poi analizzare quello passato. Certamente un confronto sic et simpliciter tra i due è totalmente inopportuno in quanto notevoli e fondamentali sono le differenze storiche e culturali. Il confronto va inteso piuttosto come mezzo per far emergere il carattere della scienza nel corso della storia e per capire cosa voglia dire scienza oggi. Ed è questa in ultima analisi l'essenza di tutta la tesina.

Ciò che è possibile affermare in conclusione è che per secoli la scienza ha avuto un valore di conoscenza universale: le sue affermazioni erano considerate da tutti come indiscutibili. In Newton questa visione si arricchisce da una forte componente religiosa, che sta alla base del suo pensiero. Successivamente la scienza si è spesso arrogata il diritto di essere l'unica a poter affermare la reale struttura del cosmo e della natura, e dunque di poter fare a meno di ciò che scienza non è. Purtroppo ancora oggi nella mentalità comune alla parola scienza si associa sempre l'idea di vero per eccellenza. Il novecento invece ha segnato una rivoluzione un po' in tutti i campi della cultura, rivoluzione all'insegna del relativismo. La scienza non ne è rimasta esente, e credo che Popper, seppure con le sue estremizzazioni, sia un valido esempio per capire questo percorso. Ho più volte evidenziato nella tesina come le sue indicazioni metodologiche siano nei fatti impossibili da realizzare (in questo senso credo sia Kuhn il filosofo che meglio ha descritto e capito il funzionamento delle comunità scientifiche). Di Popper però credo vada sottolineata la modernità, che consiste nell'aver per primo spiegato come la scienza ha un valore assolutamente relativo, limitato nel tempo e ipotetico. Sono inoltre convinto che la sua filosofia abbia dato un contributo anche allo sviluppo del pensiero moderno.

## § Bibliografia e links

La seguente bibliografia riporta un elenco di tutti i testi e URL cui si è fatto riferimento nell'elaborazione di questa tesina. I manuali di storia della filosofia sono stati utili sia per capire il pensiero dei filosofi citati, sia come fonte per alcuni dei testi riportati, in quanto contengono pure una parte antologica. Dei vari testi di critica si è fatto uso solo specificatamente alle parti di interesse per poter arricchire l'analisi e come spunto per le elaborazioni personali. Infine i siti internet cui si fa riferimento si sono rivelati una preziosa fonte di informazioni, interviste, articoli che sono stati utilizzati come supporto alla stesura della tesina stessa, per completare gli argomenti ma anche per reperire parte dei testi riportati.

- 📖 E. Mach, *La meccanica nel suo sviluppo storico – critico*, Boringhieri
- 📖 G. D. Maccarrone, *Appunti del corso di Storia della fisica – Epistemologia*, A. A. 2002/2003
- 📖 G. Reale – D. Antiseri, *Storia della filosofia* voll. 2 e 3, editrice La Scuola
- 📖 L. Kolakowski, *La filosofia del positivismo*, Laterza
- 📖 N. Abbagnano, *Storia della filosofia* vol. IV, UTET
- 📖 R. Westfall, *Force in Newton's physics: the science of dynamics in the seventeenth century*
- 📖 U. Nicola, *Atlante illustrato di filosofia*, Demetra
- 🌐 <http://digilander.libero.it/mt56/Newton%20web/default.htm>
- 🌐 <http://itis.volta.alessandria.it/episteme>
- 🌐 <http://www.emsf.rai.it>
- 🌐 <http://www.filosofico.net>
- 🌐 <http://www.fisicaonweb.it>
- 🌐 <http://www.fordham.edu>

## § Indice

Argomento della tesina e metodo di lavoro	pag. 1
Contesto storico – culturale in cui si sviluppa il pensiero di K. Popper	pag. 1
Il fallibilismo di Popper, il criterio di falsificabilità per demarcare scienza e metafisica	pag. 2
Il razionalismo critico di Popper	pag. 7
Il ruolo delle teorie non-scientifiche secondo Popper	pag. 7
Considerazioni personali	pag. 8
Il pensiero di alcuni seguaci di Popper: Kuhn e Lakatos	pag. 9
Contesto storico – culturale in cui si sviluppa l'opera di Newton	pag. 12
Le regole metodologiche indicate da Newton	pag. 13
La questione teologica per Newton	pag. 16
I principi della meccanica newtoniana	pag. 17
Considerazioni personali	pag. 19
La costruzione della teoria della gravitazione come esempio di attività scientifica	pag. 20
Conclusione	pag. 24
Bibliografia e links	pag. 25